

Efeito da nutrição de nitrato na tolerância de plantas de sorgo sudão à salinidade¹

Effect of nitrate nutrition on tolerance of sudangrass plants to salinity

Alexcyane Rodrigues Feijão², Júlio César Barbosa da Silva³, Elton Camelo Marques², José Tarquinio Prisco⁴ e Enéas Gomes-Filho^{4*}

Resumo - O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da nutrição de NO_3^- no crescimento, nas trocas gasosas e no acúmulo de solutos inorgânicos e orgânicos em plantas de sorgo sudão submetidas à salinidade. As plantas foram cultivadas em meio hidropônico e mantidas em casa de vegetação. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 (\text{NO}_3^- \text{ a } 0,5 \text{ mM ou } 8,0 \text{ mM}) \times 2 (\text{NaCl a } 0 \text{ mM ou } 100 \text{ mM})$, com cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. A salinidade reduziu a área foliar e a massa seca da parte aérea e das raízes, sendo as plantas nutridas com NO_3^- a 8,0 mM menos afetadas que aquelas com NO_3^- a 0,5 mM. A condutância estomática, a fotossíntese, a transpiração e a relação entre a concentração interna e externa de CO_2 foram aumentadas pela melhor nutrição de NO_3^- . Os teores de Na^+ e Cl^- foram significativamente aumentados pela salinidade em folhas e em raízes e os de K^+ foram reduzidos apenas nas raízes. Apesar disso, as plantas nutridas com NO_3^- a 8,0 mM apresentaram os menores teores de Na^+ e Cl^- nas folhas sob estresse salino. A salinidade aumentou os teores de prolina e N-aminossolúveis e a maior concentração de NO_3^- no meio favoreceu o acúmulo desses solutos nas raízes de plantas estressadas. Uma adequada nutrição com NO_3^- foi capaz de reduzir os efeitos deletérios da salinidade nas plantas de sorgo sudão.

Palavras-chave - Crescimento. Estresse salino. Nitrogênio. Solutos inorgânicos e orgânicos. *Sorghum sudanense*.

Abstract - This work aimed to study the effect of NO_3^- nutrition on growth, on gas exchange and on inorganic and organic solutes accumulation of sudangrass plants subjected to salinity. Plants were grown in hydroponic medium and kept in a greenhouse. The experiment was a completely randomized design, following a factorial arrangement of $2 (\text{NO}_3^- \text{ at } 0,5 \text{ mM or } 8,0 \text{ mM}) \times 2 (\text{NaCl at } 0 \text{ mM or } 100 \text{ mM})$, with five replications. All data were subjected to analysis of variance and the means were compared by Tukey's test at 5% of significance. Salinity reduced leaf area and dry weight of shoots and roots. However, plants growing in the 8.0 mM NO_3^- increased more than those growing in 0.5 mM. The stomatal conductance, photosynthesis, transpiration and the relationship between internal and external concentration of CO_2 were increased by better nutrition NO_3^- . Na^+ and Cl^- contents were significantly increased by salinity in leaves and roots and the K^+ content was reduced only in the roots. Nevertheless, plants fed with 8.0 mM NO_3^- had the lowest contents of Na^+ and Cl^- in leaves under salt stress. Salinity increased proline and amino acid contents and the higher NO_3^- concentration promoted the accumulation of these solutes in roots of stressed plants. Proper nutrition for NO_3^- was able to reduce deleterious effects of salinity in sudangrass plants.

Key words - Growth. Salt stress. Nitrogen. Inorganic and organic solutes. *Sorghum sudanense*.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 31/08/2010; aprovado em 31/01/2011

Trabalho submetido e selecionado no primeiro Simpósio Brasileiro de Salinidade realizado de 12-15/10/2010 em Fortaleza, Ceará, Brasil; parte da Monografia do segundo autor apresentada ao Curso de Ciências Biológicas/UFC

²Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, CC/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, alexcyane_feijao@yahoo.com.br, eltoncmarques@gmail.com

³Curso de Ciências Biológicas, CC/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, cesarbarbos@yahoo.com.br

⁴Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, CC/UFC, Caixa Postal 6.039, Fortaleza-CE, Brasil, 60.455-970, jtprisco@uol.com.br, egomesf@ufc.br

Introdução

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais limitam o crescimento e a produtividade agrícola (ZHU, 2001). Aproximadamente 23% das terras cultivadas do mundo vêm enfrentando problemas de salinização (FAO, 2005), que é mais severo nas regiões áridas e semiáridas, onde as elevadas taxas evapotranspiratórias e as baixas precipitações pluviométricas, associadas ao manejo inadequado do solo e da água, têm contribuído para o surgimento de solos salinizados (FAGERIA; GHEYI, 1997).

A redução do crescimento causada pela salinidade é decorrente de seus efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais (MUNNS, 2002). O excesso de sais no solo altera a capacidade da planta em absorver, transportar e utilizar os íons necessários ao seu crescimento e desenvolvimento (PARIDA; DAS, 2005). O desequilíbrio nutricional causado pela salinidade decorre, principalmente, da redução na absorção de nutrientes essenciais à planta, devido à competição na absorção e transporte, às alterações estruturais na membrana, bem como à inibição da atividade de várias enzimas-chave do metabolismo (ARAGÃO et al., 2010; MANSOUR; SALAMA, 2004; PARIDA; DAS, 2005; ZHU, 2001).

Entre os nutrientes essenciais, o nitrogênio (N), constituinte de muitas biomoléculas tais como proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, pigmentos e vários hormônios vegetais, destaca-se por ser requerido em altas concentrações pelas plantas (WILLIAMS; MILLER, 2001). O N está disponível às plantas, principalmente, como uma mistura de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), sendo este último a forma predominante e, dessa maneira, a principal fonte de N nos solos agricultáveis (MELONI et al., 2004; WILLIAMS; MILLER, 2001).

A carência de N é um dos principais fatores que limitam o crescimento das plantas em diferentes ecossistemas, sendo isso particularmente importante em condições de salinidade, pois solos salinos são, em geral, deficientes em N (ASHRAF; McNEILLY, 1994; WILLIAMS; MILLER, 2001). Além disso, a salinidade interfere na aquisição e na utilização do N, podendo influenciar sua absorção, distribuição e assimilação, bem como na síntese de proteínas (ABD-EL BAKI et al., 2000; ARAGÃO et al., 2010; DEBOUBA et al., 2006; TABATABAEI, 2006). Os parâmetros de fotossíntese também podem ser afetados pelo *status* de N na planta, já que este nutriente é utilizado para a síntese de componentes do aparato fotossintético (RANJITH et al., 1995).

Alguns estudos têm demonstrado que uma fertilização nitrogenada adequada pode reduzir os efeitos deletérios da salinidade e promover o crescimento das

plantas (BARHOUMI et al., 2010; EBERT et al., 2002). O papel do N no aumento da resistência das plantas à salinidade reside no fato de que o aumento do suprimento de N promove um maior acúmulo de compostos orgânicos nitrogenados (por exemplo, prolina, aminoácidos livres, glicinabetaína), que desempenham um importante papel no balanço osmótico celular, além de estabilizar estruturas subcelulares (membranas e proteínas) sob condições de estresse salino (PARIDA; DAS, 2005). Além disso, o NO_3^- , quando está em excesso, pode se acumular no vacúolo e também contribuir na redução do potencial osmótico da planta, favorecendo diretamente o ajustamento osmótico em condições de estresse salino (DING et al., 2010).

Dada a alta exigência de N pela maioria das gramíneas e a carência de estudos envolvendo a interação entre a salinidade e o N em sorgo sudão, objetivou-se avaliar, nesta espécie, o efeito da nutrição de NO_3^- no crescimento, nas trocas gasosas e no acúmulo de solutos inorgânicos e orgânicos em plantas submetidas à salinidade.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e as análises bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, da Universidade Federal do Ceará. Sementes de sorgo sudão [*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf] foram semeadas em copos plásticos contendo vermiculita umedecida com água destilada. Decorridos sete dias, as plântulas foram transferidas para bandejas de 10 L contendo solução nutritiva de Hoagland modificada (diluída 1:2), com NO_3^- (única fonte de N) nas concentrações de 0,5 ou 8,0 mM. Aos quatorze dias após a semeadura, foi iniciada a adição de NaCl, que foi feita em parcelas de 25 mM por dia até atingir a concentração final de 100 mM.

No mesmo dia da coleta (20 dias após o início da adição de NaCl), no período de 08:00 às 10:00 h, foram mensurados os parâmetros de trocas gasosas (fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática e concentrações interna e externa de CO_2) na porção mediana da primeira folha completamente expandida, a partir do ápice, utilizando-se, para isso, um analisador de gás no infravermelho (IRGA, ADC BioScientific Ltd., mod. LCi, Hoddesdon, UK) acoplado a uma fonte de radiação artificial (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, UK) com intensidade de aproximadamente $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Durante a coleta, as plantas foram divididas em folhas, colmos e raízes e, em seguida, determinaram-se a massa fresca dessas partes e a área foliar (LI-COR®, mod.

LI-3100, Lincoln, Nebraska, USA). As terceira e quarta folhas completamente expandidas, a partir da base, e o terço distal das raízes foram utilizados para a obtenção do suco celular. O restante do material coletado foi destinado à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, por 48 h e após esse processo, determinou-se a massa seca (MS) das diferentes partes da planta, levando-se em consideração a massa retirada inicialmente.

Em todas as determinações de solutos, foi utilizado o suco celular extraído dos tecidos de folhas e raízes, obtido pela maceração do material vegetal em almofariz, seguido de prensagem do macerado (envolto numa tela de náilon) com o auxílio de uma seringa descartável de 10 mL. O líquido extraído foi, então, centrifugado a 12.000 x g, por 10 min, a 4 °C, obtendo-se assim o sobrenadante (suco celular). Os teores de Na⁺ e de K⁺ foram determinados por fotometria de chama. Os teores de Cl⁻ foram determinados segundo o método de Gaines et al. (1984), enquanto os teores de NO₃⁻ foram determinados através do método do ácido salicílico (CATALDO et al., 1975). Foram também analisados os teores de N-aminossolúveis (YEMM; COCKING, 1955) e prolina (BATES et al., 1973).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (NO₃⁻ a 0,5 mM ou 8,0 mM) x 2 (NaCl a 0 mM ou 100 mM), compreendendo cinco repetições, sendo cada repetição constituída por três plantas. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. O programa utilizado para as análises estatísticas e a confecção dos gráficos foi o SigmaPlot 11.0.

Resultados e discussão

O efeito da nutrição com NO₃⁻ no crescimento das plantas de sorgo sudão sob estresse salino está apresentado na Tabela 1 e na Figura 1. Houve interação significativa entre salinidade e NO₃⁻ apenas na área foliar (AF) e na massa seca da parte aérea (MSPA) (TAB. 1). A salinidade

reduziu esses parâmetros em ambos os tratamentos com NO₃⁻, mas essa redução foi mais pronunciada nas plantas nutridas com NO₃⁻ a 8,0 mM. Apesar disso, as plantas deste tratamento, em ambas as condições de salinidade, apresentaram valores de AF e MSPA maiores que aqueles das plantas nutridas com NO₃⁻ a 0,5 mM (FIG. 1A e 1B). A massa seca das raízes (MSR) também foi reduzida pela salinidade, mas, diferentemente do que aconteceu com a AF e a MSPA, esse efeito não dependeu da concentração de NO₃⁻ do meio (TAB. 1 e FIG. 1C). Por fim, a salinidade e o NO₃⁻, bem como a interação entre eles, não interferiram de maneira significativa na relação MSPA/MSR das plantas de sorgo sudão (TAB. 1 e FIG. 1D).

Esses resultados mostram uma resposta típica de glicófitas à salinidade, as quais, na maioria das vezes, têm seu crescimento reduzido em razão desse estresse (GREENWAY; MUNNS, 1980). O aumento do suprimento de N foi capaz de promover o crescimento das plantas de sorgo sudão, tanto em condições controle quanto de salinidade (FIG. 1). Resultados semelhantes foram encontrados para outras espécies, tais como *Helianthus annuus* (CECHIN; FUMIS, 2004), *Zea mays* (FEIJÃO, 2007), *Tamarix laxa* (DING et al., 2010), *Aeluropus litoralis* e *Catapodium rigidum* (BARHOUMI et al., 2010). Contrariamente ao que foi observado neste trabalho, a salinidade (NaCl a 100 mM) reduziu a relação MSPA/MSR em dois genótipos de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*) (LACERDA et al., 2001).

Dentre os parâmetros de trocas gasosas, a fotossíntese líquida (*A*) foi o único afetado pela interação entre salinidade e NO₃⁻; no entanto, todos eles foram influenciados pela concentração de NO₃⁻ no meio de cultivo (TAB. 1). A salinidade não teve efeito sobre a condutância estomática (*g_s*) (TAB. 1; FIG. 2A), mas causou a redução da *A* nas plantas tratadas com NO₃⁻ a 8,0 mM (FIG. 2B). A inibição da *A* pela salinidade parece estar mais relacionada com os danos no aparelho fotossintético ou no sistema enzimático de fixação de CO₂ do que com as limitações estomáticas, já que não foram observadas alterações na condutância estomática, em função da

Tabela 1 - Valores do teste *F* para a área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR), relação MSPA/MSR, condutância estomática (*g_s*), fotossíntese líquida (*A*), transpiração (*E*) e relação entre as concentrações interna e externa de CO₂ (*C_i/C_o*) de plantas de sorgo sudão cultivadas em solução nutritiva com NO₃⁻ a 0,5 ou 8,0 mM e sob condições controle ou de estresse salino

Fontes de variação	AF	MSPA	MSR	MSPA/MSR	<i>g_s</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>C_i/C_o</i>
Salinidade (S)	228,19***	229,12***	130,16***	4,66 ^{ns}	0,39 ^{ns}	18,84***	9,43*	2,93 ^{ns}
Nitrato (N)	71,83***	78,93***	14,81***	1,84 ^{ns}	27,24***	155,39***	76,91***	12,61*
S x N	19,31***	12,40**	1,78 ^{ns}	3,21 ^{ns}	0,80 ^{ns}	44,81***	0,34 ^{ns}	0,47 ^{ns}

P* ≤ 0,05; *P* ≤ 0,01; ****P* ≤ 0,001; ^{ns} não significativo

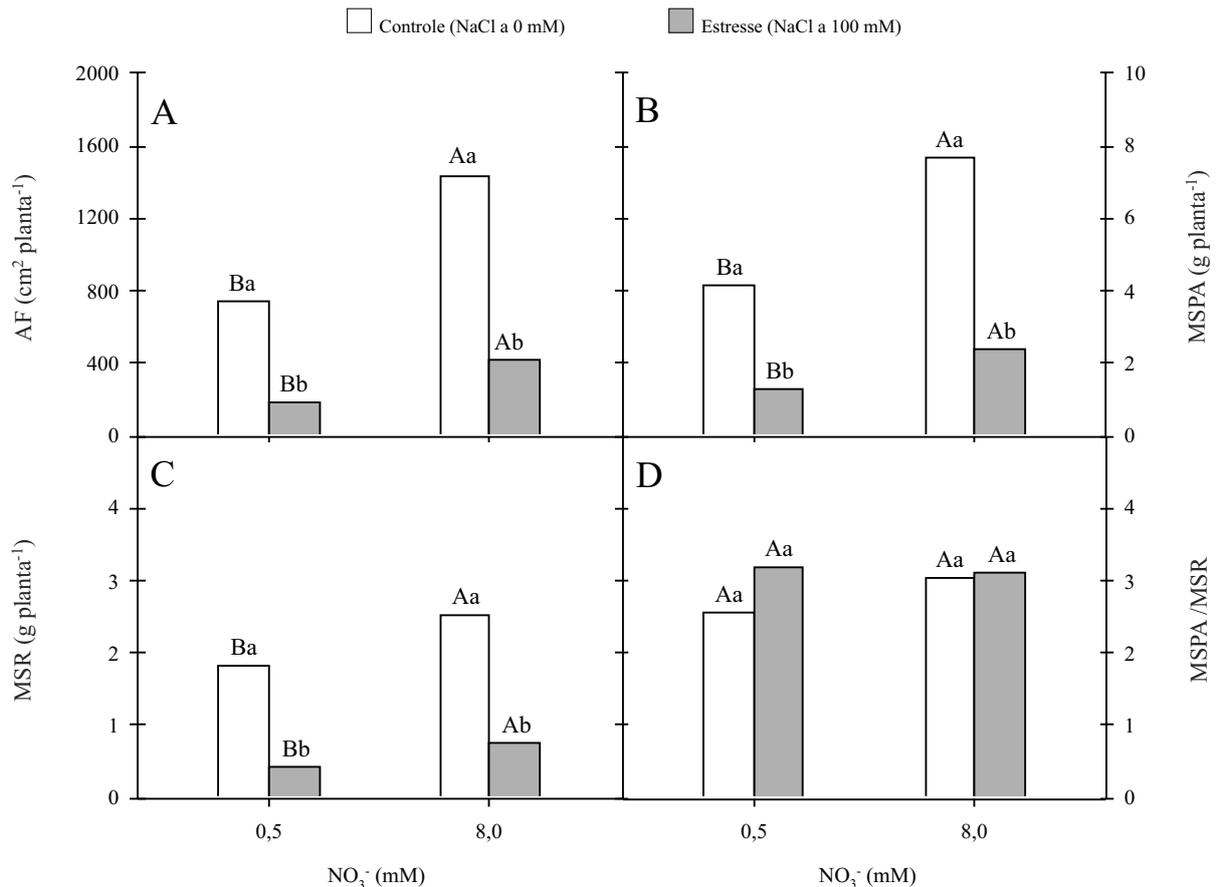


Figura 1 - Área foliar (AF, A), massa seca da parte aérea (MSPA, B) e das raízes (MSR, C) e relação MSPA/MSR (D) de plantas de sorgo sudão cultivadas em solução nutritiva com NO₃⁻ a 0,5 ou 8,0 mM e sob condições controle ou de estresse salino. Colunas seguidas pelas mesmas letras minúsculas em um mesmo nível de NO₃⁻ ou maiúsculas em um mesmo nível de salinidade não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$)

salinidade (PARIDA; DAS, 2005). O estresse salino reduziu a transpiração (E) das plantas de sorgo sudão em ambos os tratamentos com NO₃⁻, porém, não afetou a relação entre as concentrações interna e externa de CO₂ (C_i/C_o) (FIG. 2C e 2D).

Como visto na Figura 2, todos os parâmetros de trocas gasosas foram maiores nas plantas nutridas com NO₃⁻ a 8,0 mM, em comparação àqueles de plantas nutridas com 0,5 mM. Isso pode explicar parcialmente o melhor crescimento das plantas de sorgo sudão submetidas à maior concentração de NO₃⁻. Vários trabalhos mostram uma correlação positiva entre a taxa fotossintética e a nutrição de N (CECHIN; FUMIS, 2004; RANJITH et al., 1995). Em cana-de-açúcar, uma reduzida disponibilidade de N levou a uma menor concentração desse nutriente nas folhas e a uma menor atividade das enzimas fotossintéticas, reduzindo, conseqüentemente, a A (RANJITH et al., 1995), mas isso não é uma resposta

geral das plantas, pois Tabatabaei (2006) observou que o aumento da concentração de N no meio de cultivo induziu a redução da g_s , A e E em oliveira.

Com exceção do Cl⁻, todos os íons estudados tiveram suas concentrações afetadas pela interação entre salinidade e NO₃⁻, tanto nas folhas quanto nas raízes (TAB. 2). As concentrações de Na⁺ aumentaram significativamente, em função da salinidade, nas folhas e nas raízes das plantas tratadas com ambas as concentrações de NO₃⁻ (FIG. 3A e 3B). Em condições de salinidade, as folhas das plantas nutridas com NO₃⁻ a 0,5 mM foram as que mais acumularam Na⁺, enquanto que nas raízes, o maior acúmulo deste íon ocorreu nas plantas nutridas com NO₃⁻ a 8,0 mM (FIG. 3A e 3B), indicando que o aumento da concentração de NO₃⁻ contribuiu para a redução da translocação de Na⁺ para a parte aérea. Resultado semelhante já havia sido observado por Ebert et al. (2002) em goiabeira. O aumento do suprimento de NO₃⁻ às plantas da halófito

T. laxa, em condições de salinidade, reduziu os teores de Na⁺ tanto na parte aérea quanto na raiz (DING et al., 2010), mas em milho, a nutrição de NO₃⁻ não influenciou os teores de Na⁺ (FEIJÃO, 2007).

O aumento da disponibilidade de NO₃⁻ proporcionou o acúmulo de K⁺ nas folhas das plantas sob condições salinas, porém, nas condições controle, nenhum efeito do NO₃⁻ foi observado (FIG. 3C). Nas raízes das plantas sob salinidade,

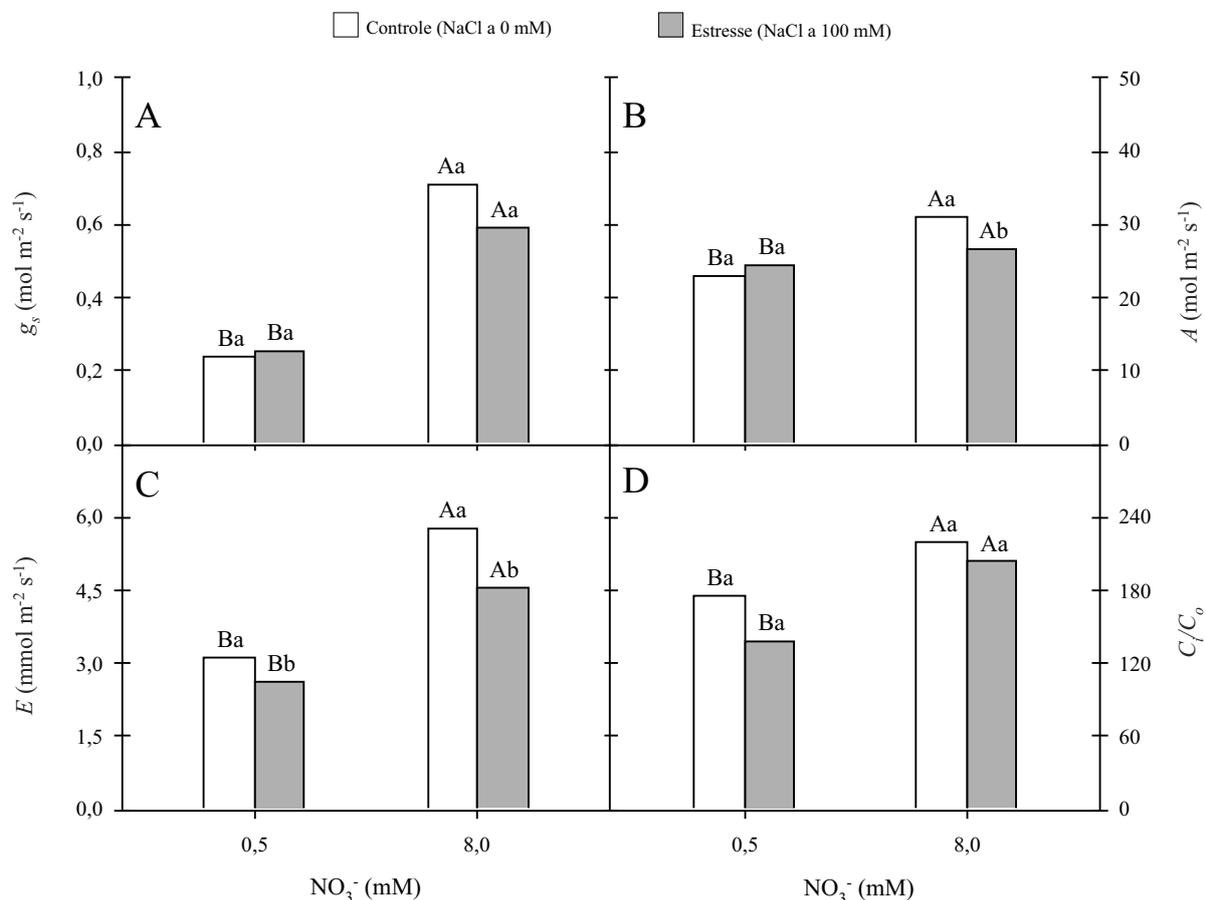


Figura 2 - Condutância estomática (g_s , A), fotossíntese líquida (A , B), transpiração (E , C) e relação entre a concentração interna e externa de CO_2 (C/C_o) de plantas de sorgo sudão cultivadas em solução nutritiva com NO_3^- a 0,5 ou 8,0 mM e sob condições controle ou de estresse salino. Colunas seguidas pelas mesmas letras minúsculas em um mesmo nível de NO_3^- ou maiúsculas em um mesmo nível de salinidade não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$)

Tabela 2 - Valores do teste F para as concentrações de Na⁺, K⁺, Cl⁻ e NO₃⁻ em folhas e raízes de plantas de sorgo sudão cultivadas em solução nutritiva com NO₃⁻ a 0,5 ou 8,0 mM e sob condições controle ou de estresse salino

Fontes de variação	Folhas				Raízes			
	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
Salinidade (S)	231,17***	9,84**	133,23***	23,80***	452,90***	76,91***	14,98***	32,28***
Nitrato (N)	30,06***	1,56 ^{ns}	12,56**	81,40***	5,16*	0,03 ^{ns}	16,63***	722,78***
S x N	30,19***	7,71*	0,0008 ^{ns}	50,62***	4,99*	8,85**	22,03 ^{ns}	95,04***

* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$; ^{ns} não significativo

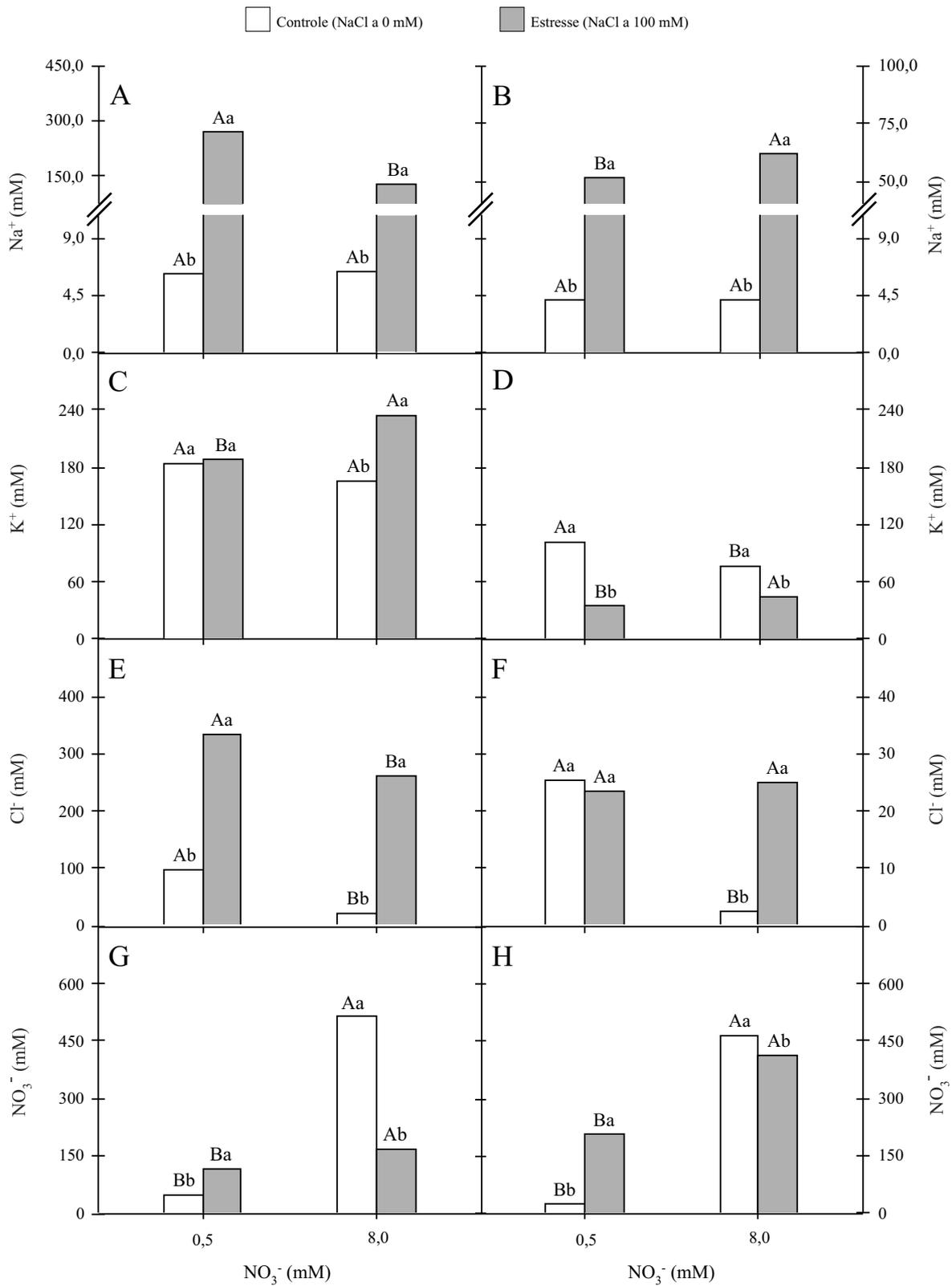


Figura 3 - Teores de Na⁺, K⁺, Cl⁻ e NO₃⁻ em folhas (A, C, E e G) e raízes (B, D, F e H) de plantas de sorgo sudão cultivadas em solução nutritiva com NO₃⁻ a 0,5 ou 8,0 mM e sob condições controle ou de estresse salino. Colunas seguidas pelas mesmas letras minúsculas em um mesmo nível de NO₃⁻ ou maiúsculas em um mesmo nível de salinidade não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$)

a concentração de K^+ também foi maior nas plantas nutridas com NO_3^- a 8,0 mM, apesar de o estresse salino ter reduzido a concentração de K^+ em ambos os tratamentos de NO_3^- (FIG. 3D). A influência do NO_3^- sobre os teores de K^+ é bastante contraditória. Ebert et al. (2002) mostraram que o aumento de NO_3^- no meio de cultivo elevou os teores de K^+ em folhas de goiabeira sob condições salinas, enquanto que em milho (FEIJÃO, 2007) e *T. laxa* (DING et al., 2010) não foi observada influência do NO_3^- nesses teores, tanto em condições controle como de salinidade.

A salinidade aumentou a concentração de Cl^- nas folhas das plantas de ambos os tratamentos de NO_3^- , bem como nas raízes das plantas tratadas com NO_3^- a 8,0 mM (FIG. 3E e 3F). Houve uma menor concentração de Cl^- nas folhas das plantas tratadas com NO_3^- a 8,0 mM, tanto em condições controle quanto de estresse salino (FIG. 3E), mostrando que uma adequada nutrição de NO_3^- pode reduzir a translocação de íons tóxicos para as folhas e aumentar a resistência das plantas à salinidade, uma vez que Na^+ e Cl^- são os íons inorgânicos que mais alteram a funcionalidade das enzimas (BARHOUMI et al., 2010). Em milho, houve uma correlação negativa entre o acúmulo de Cl^- e NO_3^- (FEIJÃO, 2007).

Nos dois órgãos estudados, as maiores concentrações de NO_3^- foram observadas nas plantas cultivadas com NO_3^- a 8,0 mM, tanto em condições controle quanto de estresse salino, e, além disso, a concentração de NO_3^- variou diferentemente com a salinidade, entre os tratamentos de NO_3^- (FIG. 3G e 3H). Nas plantas nutridas com a baixa concentração de NO_3^- , os teores deste íon em folhas e raízes foram aumentados pela salinidade. Isso pode estar associado ao acúmulo de NO_3^- nos vacúolos devido à redução na atividade da redutase do nitrato (NR), enzima que catalisa o primeiro passo da assimilação de NO_3^- . A atividade da NR é alterada tanto pela concentração deste íon no meio de cultivo quanto pelo NaCl (ARAGÃO et al., 2010; DEBOUBA et al., 2006). Dessa maneira, ocorreu, provavelmente, um desequilíbrio entre as taxas de absorção e assimilação de NO_3^- , já observado anteriormente em condições de salinidade (ABD-EL BAKI et al., 2000). Contudo, em plantas cultivadas no meio com a mais alta concentração de

NO_3^- (8,0 mM), foi observada uma redução do acúmulo de NO_3^- em condições de salinidade (FIG. 3G e 3H). O efeito negativo da salinidade na absorção de NO_3^- já foi relatado em várias espécies com tolerância diferencial ao estresse salino, sendo isto devido à competição direta entre os íons Cl^- e NO_3^- pelo mesmo transportador ou às alterações na integridade da membrana (ARAGÃO et al., 2010; BARHOUMI et al., 2010; MANSOUR; SALAMA, 2004).

O efeito do NO_3^- na concentração de N-aminossolúveis e prolina em folhas e raízes de plantas de sorgo sudão sob estresse salino está apresentado na Tabela 3. A interação entre salinidade e NO_3^- foi significativa para todos os parâmetros estudados, à exceção da concentração de N-aminossolúveis nas raízes (TAB. 3). O estresse salino aumentou os teores de N-aminossolúveis em ambos os órgãos estudados e, nas raízes, houve um maior acúmulo deste soluto nas plantas nutridas com NO_3^- a 8,0 mM (FIG. 4A e 4B). A concentração de prolina nas folhas aumentou com a salinidade, principalmente nas plantas nutridas com NO_3^- a 0,5 mM (FIG. 4C). Já nas raízes, a salinidade não alterou os teores deste soluto nas plantas nutridas com 0,5 mM de NO_3^- , no entanto, na maior concentração de NO_3^- observou-se um maior acúmulo de prolina nas raízes das plantas submetidas ao estresse salino (FIG. 4D). O acúmulo de prolina e aminoácidos livres em tecidos de plantas sob salinidade é uma resposta comum ao estresse salino (AZEVEDO NETO et al., 2004; LACERDA et al., 2001). Diversas funções são propostas para estes compostos em condições de estresse, das quais podemos destacar: ajustamento osmótico, proteção de macromoléculas, fonte de N e energia, manutenção do pH celular, além de atenuar os efeitos do estresse oxidativo por eliminar radicais livres (PARIDA; DAS, 2005). Neste estudo, não se pôde precisar quais funções estes compostos exerceram nas plantas de sorgo sudão, porém, o maior aumento de suas concentrações nas raízes das plantas nutridas com NO_3^- a 8,0 mM e sob estresse salino, em comparação àquelas nutridas com NO_3^- a 0,5 mM, contribuiu, provavelmente, para que essas plantas superassem os efeitos deletérios da salinidade (FIG. 4B e 4D).

Tabela 3 - Valores do teste *F* para as concentrações de N-aminossolúveis e prolina em folhas e raízes de plantas de sorgo sudão cultivadas em solução nutritiva com NO_3^- a 0,5 ou 8,0 mM e sob condições controle ou de estresse salino

Fontes de variação	Folhas		Raízes	
	N-aminossolúveis	Prolina	N-aminossolúveis	Prolina
Salinidade (S)	261,45***	736,06***	52,88***	23,65***
Nitrato (N)	45,93***	6,74*	124,89***	0,04 ^{ns}
S x N	67,44***	14,01**	0,11 ^{ns}	12,55**

* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$; ^{ns} não significativo

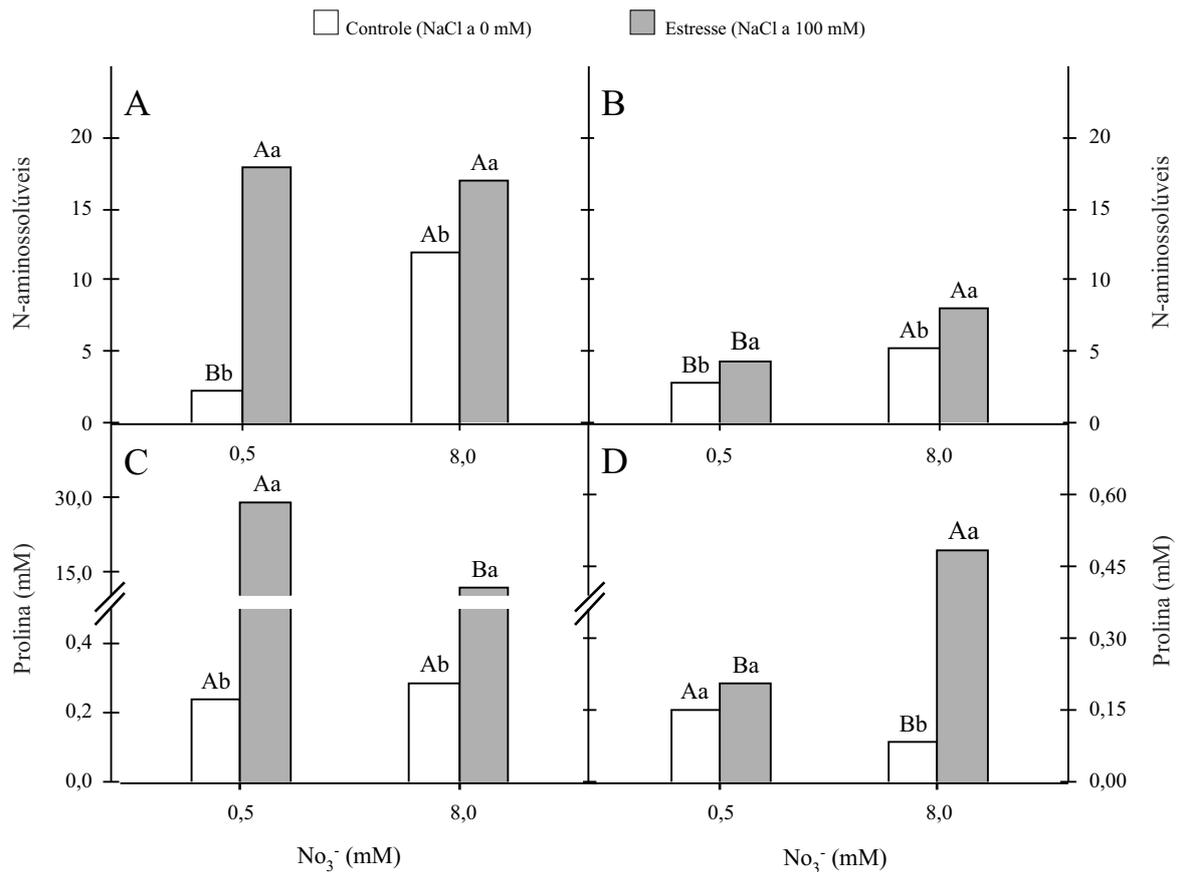


Figura 4 - Teores de N-aminossolúveis e prolina em folhas (A e C) e raízes (B e D) de plantas de sorgo sudão cultivadas em solução nutritiva com NO₃⁻ a 0,5 ou 8,0 mM e sob condições controle ou de estresse salino. Colunas seguidas pelas mesmas letras minúsculas em um mesmo nível de NO₃⁻ ou maiúsculas em um mesmo nível de salinidade não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$)

Conclusões

1. A nutrição com NO₃⁻ a 8,0 mM foi capaz de reduzir os efeitos deletérios da salinidade nas plantas de sorgo sudão, fato este demonstrado pelo aumento da fotossíntese e pela redução da translocação de íons Na⁺ e Cl⁻ para as folhas nessas condições, resultando em um melhor crescimento destas plantas, em comparação àquelas nutridas com NO₃⁻ a 0,5 mM;
2. O aumento da concentração de N-aminossolúveis e prolina nas raízes das plantas de sorgo sudão ocasionado pela maior disponibilidade de N, contribuiu, provavelmente, para o melhor desempenho destas plantas frente à salinidade.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação Cearense

de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTSal) pela concessão de bolsas e de recursos financeiros indispensáveis à realização deste trabalho de pesquisa.

Referências

- ABD-EL BAKI, G. K. *et al.* Nitrate reductase in *Zea mays* L. under salinity. **Plant, Cell and Environment**, v. 23, n. 05, p. 515-521, 2000.
- ARAGÃO, R. M. *et al.* Absorção, fluxo no xilema e assimilação do nitrato em feijão-caupi submetido à salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 01, p. 100-106, 2010.
- ASHRAF, M.; McNEILLY, T. Responses of three arid zone grasses to N deficiency: A greenhouse study. **Arid Soil Research and Rehabilitation**, v. 08, n. 02, p. 125-136, 1994.
- AZEVEDO NETO, A. D. *et al.* Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different

- maize genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 16, n. 01, p. 31-38, 2004.
- BARHOUMI, Z. *et al.* Nitrogen and NaCl salinity effects on the growth and nutrient acquisition of the grasses *Aeluropus litoralis*, *Catapodium rigidum*, and *Brachypodium distachyum*. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 173, n. 01, p. 149-157, 2010.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 01, p. 205-207, 1973.
- CATALDO, D. A. *et al.* Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 06, n. 01, p. 71-80, 1975.
- CECHIN, I.; FUMIS, T. F. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse. **Plant Science**, v. 166, n. 05, p. 1379-1385, 2004.
- DEBOUBA, M. *et al.* Salinity-induced tissue-specific diurnal changes in nitrogen assimilatory enzymes in tomato seedlings grown under high or low nitrate medium. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 44, n. 05-06, p. 409-419, 2006.
- DING, X. *et al.* Effects of NO₃-N on the growth and salinity tolerance of *Tamarix laxa* Willd. **Plant and Soil**, v. 331, n. 01-02, p. 57-67, 2010.
- EBERT, G. *et al.* Ameliorating effects of Ca(NO₃)₂ on growth, mineral uptake and photosynthesis of NaCl-stressed guava seedlings (*Psidium guajava* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 93, n. 02, p. 125-135, 2002.
- FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. In: GHEYI, H. R., QUEIROZ, J. E., MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, SBEA, 1997, p. 363-383.
- FAO. **Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils**. Rome: FAO Land and Plant Nutrition Management Service, 2005. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush>>. Acesso em: 10 jun. 2010.
- FEIJÃO, A. R. **Efeitos do nitrato no crescimento, no acúmulo de íons e nas trocas gasosas de plantas de milho (*Zea mays* L.) submetidas à salinidade**. 2007. 69 f. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- GAINES, T. P.; PARKER, M. B.; GASCHO, G. J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. **Agronomy Journal**, v. 76, n. 03, p. 371-374, 1984.
- GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 31, p. 149-190, 1980.
- LACERDA, C. F. *et al.* Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes, under NaCl stress. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 03, p. 270-284, 2001.
- MANSOUR, M. M. F.; SALAMA, K. H. A. Cellular basis of salinity tolerance in plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 52, n. 02, p. 113-122, 2004.
- MELONI, D. A. *et al.* The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 16, n. 01, p.39-46, 2004.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 02, p. 239-250, 2002.
- PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environment Safety**, v. 60, n. 03, p. 324-349, 2005.
- RANJITH, S. A. *et al.* Partitioning of carboxylase activity in nitrogen-stressed sugarcane and its relationship to bundle sheath leakiness to CO₂, photosynthesis and carbon isotope discrimination. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 22, n. 06, p. 903-911, 1995.
- TABATABAEI, S. J. Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive (*Olea europaea* L.) trees. **Scientia Horticulturae**, v. 108, n. 04, p. 432-438, 2006.
- WILLIAMS, L. E.; MILLER, A. J. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 52, p. 659-688, 2001.
- YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n. 948, p. 209-213, 1955.
- ZHU, J. K. Plant salt tolerance. **Trends Plant Science**, v. 6, n. 02, p. 66-71, 2001.